

小型超音速飛行実験機のエアインテークの空力特性

著者	溝端 一秀, 塩田 光平
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2013
ページ	24-28
発行年	2014-08
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008844

小型超音速飛行実験機のエアインテークの空力特性

著者	溝端 一秀, 塩田 光平
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2013
ページ	24-28
発行年	2014-08
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008844

小型超音速飛行実験機のエアインテークの空力特性

○溝端 一秀（もの創造系領域 准教授）

塩田 光平（機械航空創造系学科 4 年）

1. はじめに

第二世代小型超音速飛行実験機（M2011 空力形状）では，高速飛行に適合した GG-ATR エンジン基が胴体後端に搭載され，胴体腹面にインテーク（空気取り入れ口）が設置される．そのエンジン性能はインテークの空力性能に大きく依存し，また飛行性能を見積もる上でインテーク抗力は非常に重要である．そこで，本研究は第二世代実験機に搭載予定のエアインテークの空力特性を評価することを目的とし，JAXA/ISAS 遷音速風洞および室蘭工大超音速風洞において風洞試験を実施する．

2. インテークの設計

本研究で取り扱うインテークは，第二世代実験機の胴体腹面に設置される矩形インテークであり，GG-ATR エンジン所要の流量・圧力の空気を供給できるように，超音速ディフューザ・亜音速ディフューザを組み合わせ，マッハ 2.0 で流量捕獲率 100%になるように設計されている．その形状・寸法を図 1 に示す．また，インテークを搭載した第二世代実験機の予想図を図 2 に示す．

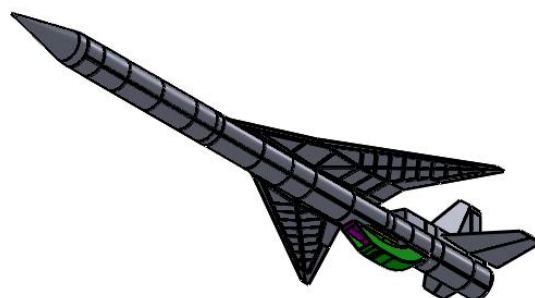
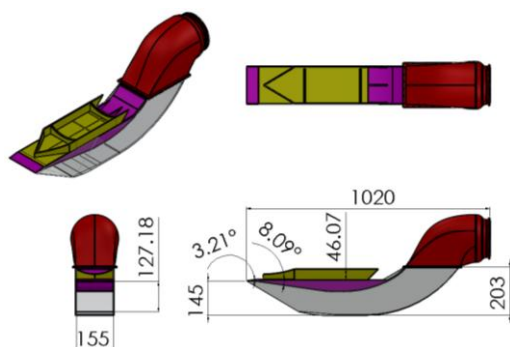


図 1. インテークの形状・寸法

図 2. インテークを搭載した第二世代実験機

3. インテークの空力特性指標

インテークの空力性能を評価する指標として，インテーク抗力，全圧回復率，および流量捕獲率の 3 つがある．風洞試験において，インテーク抗力は天秤を用いて計測される．全圧回復率と流量捕獲率の推算手法を以下に述べる．

3-1. 全圧回復率

全圧回復率は一様流全圧 P_0 ，一様流静圧 P_∞ ，およびインテーク出口全圧 P_{0i} を用いて，

$$\eta_p = \frac{P_{0i}}{P_0} = \frac{P_{0i}}{P_\infty} \frac{P_\infty}{P_0} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで，等エントロピー関係式

$$\frac{P_0}{P_\infty} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

が成り立つため、全圧回復率は

$$\eta_p = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\kappa}{1 - \kappa}} \frac{P_{0i}}{P_\infty} \quad \dots \dots \dots (3)$$

と表される．したがって、風試において一様流マッハ数 M ，一様流静圧 P_∞ ，およびインテーク出口全圧 P_{0i} を計測することで、全圧回復率を算出できる．

3－2．流量捕獲率

ランプから発生する斜め衝撃波によって曲げられた流れの偏角はランプの傾斜角に等しいため、シュリーレン画像から図2のようにカウルリップにぶつかる流線を作図し、インテークに流入する流管の断面積を求め、インテーク入口前面投影面積で割ることで流量捕獲率を推算する．

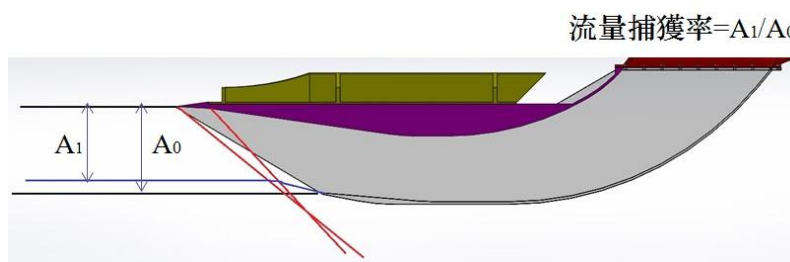


図2．流量捕獲率推算法

4．風洞試験

4－1．風洞試験模型

インテーク入口およびダクト内の流れの計測・観察を容易にするために、風洞閉塞率が過大にならない範囲で模型をできるだけ大きくする必要から、縮尺比 1/3 の風試模型を設計製作した．その形状・寸法を図3に、製作された風試模型を図4に示す．実機の胴体を模擬する胴体模型を設け、インテークダクト出口は胴体模型の対称軸上に置いている．実機のインテークダクト出口は円筒形状であるが、この風試模型では製作の容易さの観点から同等流路面積を持つ矩形出口としている．

エンジンの空気吸い込み流量を模擬するために、インテークダクト出口にオリフィスを設け、その開口率（面積比）を 100%，87.5%，75% の3通りとしている．また、オリフィスにピトーレイクを共締めし、オリフィス直近上流の全圧分布および静圧を計測する．オリフィスとピトーレイクの寸法・配置を図5に示す．

インテーク模型と胴体模型にはたらく抗力を計測するために、インテーク模型のカウル部品を内装天秤に装着できるようにしている．今回は、胴体模型をインテーク模型に接続し、胴体模型およびインテーク模型の総体の抗力を計測する．今後、胴体模型をスティング上面に直接接続し、胴体模型とインテーク模型を遊離させることによって、インテーク模型のみの抗力を計測することも可能である．

インテーク模型の側面は、当面アルミ板（t5）としているが、その一部を透明アクリル板とすることによって内部流れの光学観察も可能である．

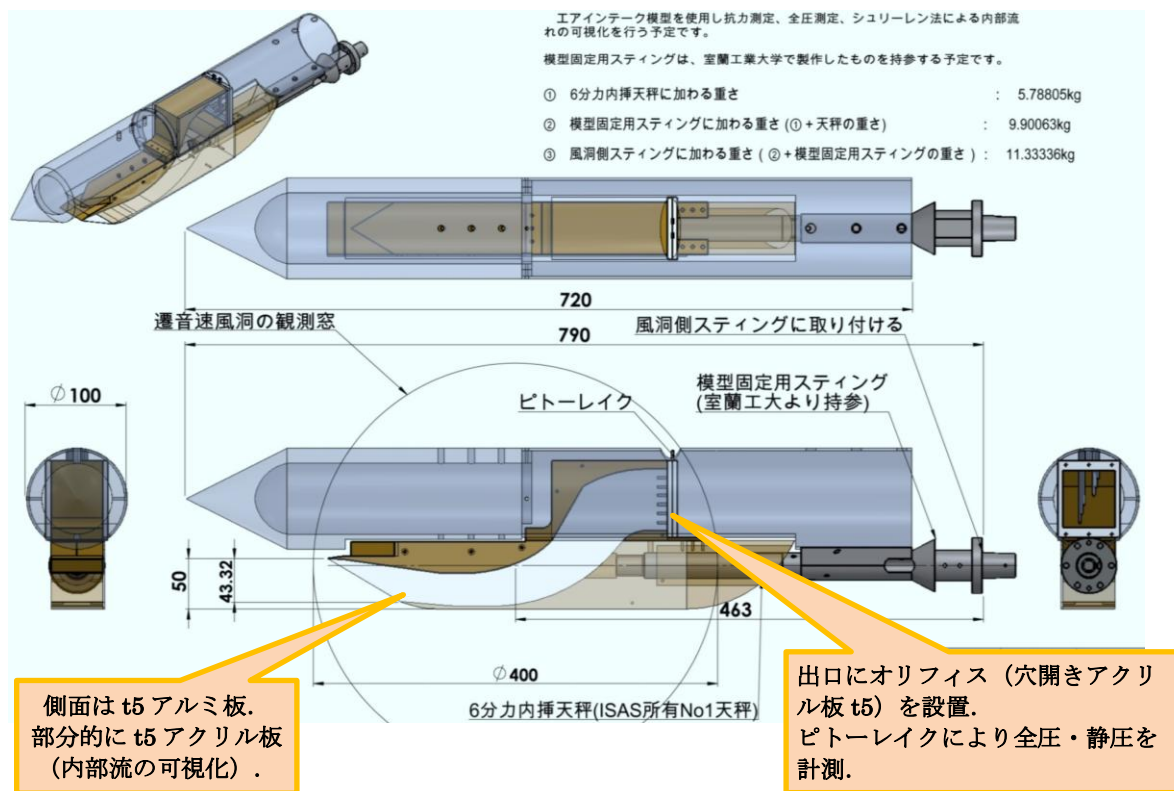


図 3. インテーク模型の設計



図 4. 製作されたインテーク模型

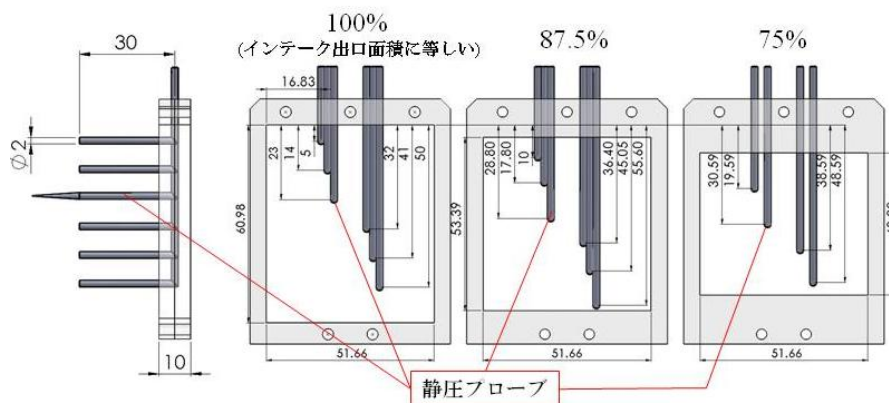


図 5. オリフィスとピトーレイクの寸法・配置

4-2. 試験条件

通風条件は、ISAS 遷音速風洞においては、マッハ 1.3~0.7 のマッハスイープおよび迎角ゼロである。また、模型にはたらく抗力が天秤秤量を超えないように、一様流全圧として遷音速風洞の運転可能最小値 1.5kgf/cm^2 に設定する。室蘭工大超音速風洞においては、マッハ 2.0 ノズルブロックを用い、一様流全圧 100kPa (大気圧) である。実際は、風洞のラバルノズルの流路拡大部分にインテーク入口が配置されるため、インテーク入口マッハ数は 1.6 程度である。また、整流金網の圧損によって一様流全圧は 80kPa 程度である。

4-3. 風洞試験の結果及び考察

3 種類の開口率のオリフィスを用いて、マッハ 1.3~0.7 のマッハスイープ試験によって計測した抗力値を図 6 に示す。オリフィス開口率の違いによる抗力の差はほとんど見られない。また、インテークダクト出口における全圧分布を図 7 に示す。各通風マッハ数において、3 種類のオリフィスによるデータが 1 本の曲線に乗っていることから、オリフィス開口率による全圧分布の差は小さいものと判定される。さらに、紙面の都合から掲載していないが、インテーク入口近傍のシュリーレン画像も、3 種類のオリフィスによってほとんど差が見られない。付け加えて、図 7 の全圧分布において上部 $z = 0 \sim 20\text{mm}$ と下部 $z = 45 \sim 60\text{mm}$ で全圧が小さいことがわかる。これらのことから、インテークダクトの上下壁面近くで流れが剥離しており、開口比 75% のオリフィスよりも実質的な内部流路面積が狭くなっていると考えられる。

実機の飛行解析から得られる飛行経路において、エンジン所要の空気流量・流量捕獲率の推算値と、今回の風試で計測された流量捕獲率を、図 8 に示す。風試結果は、インテークダクト内流れが大きく剥離しているものの、所要流量捕獲率推算値を上回る結果となっている。このことから、内部流れの剥離を低減できればインテーク入口サイズを小さくでき、インテーク抗力の低減につながるものと期待される。

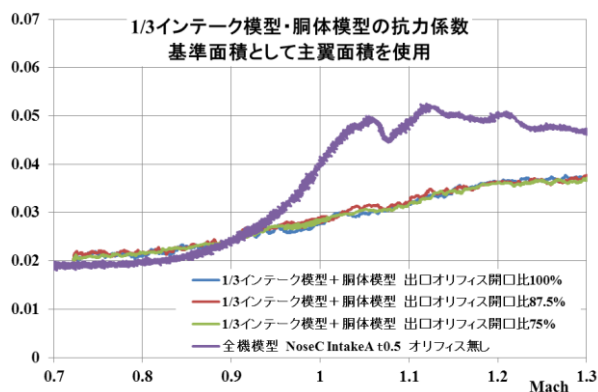


図 6. 3 種類のオリフィスによる抗力の比較

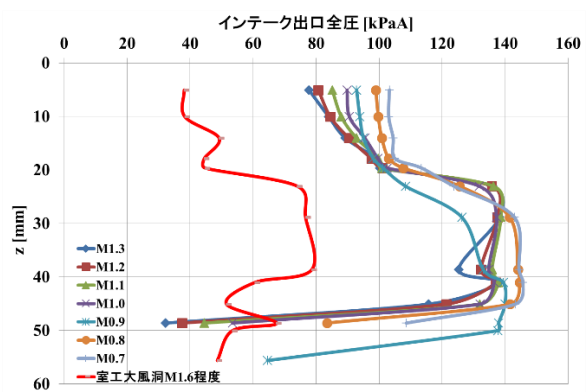


図 7. インテークダクト出口の全圧分布

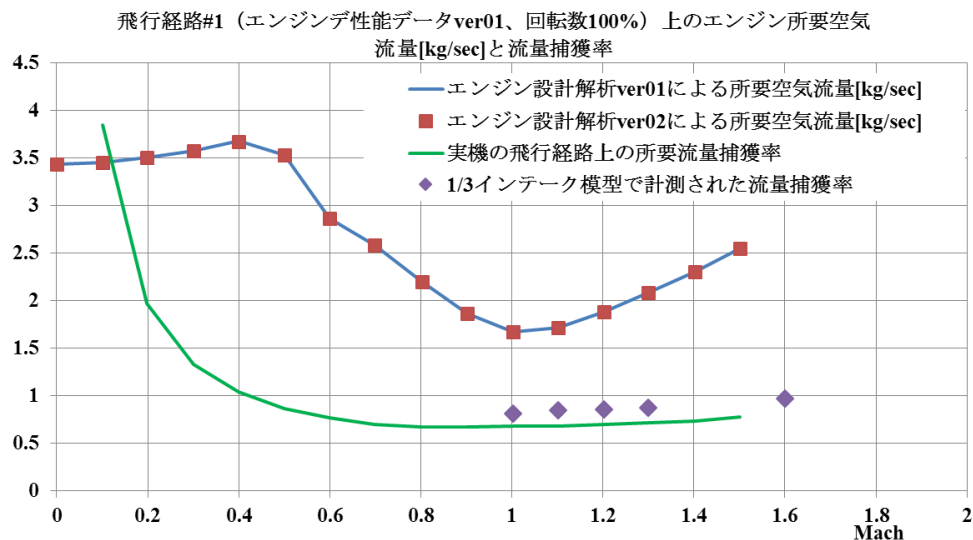


図8．飛行経路上でのエンジン所要空気流量・所要流量捕獲率の推算値，および風試結果

5. まとめ

第二世代小型超音速飛行実験機（M2011 形状）の胴体腹面に設置するインテークの空力特性を評価するため，M2.0 を設計点とする 1/3 スケール・インテーク模型を設計製作し風洞試験を行った．エンジンの吸い込み空気流量を模擬するために，インテークダクト出口にオリフィスを設置し，開口率を 100%，87.5%，および 75% の 3 通りとした．また，オリフィス直近の上流側でピトーレイクを用いて全圧分布および静圧を計測した．

その結果，オリフィス開口率の違いによって抗力，入口シュリーレン画像，出口全圧分布に差はほとんど見られなかった．また，上下壁面近くに全圧の低い領域があることが確認された．これは，インテークのダクト形状の曲げ勾配が大きいため，ダクト内で流れが剥離しているためと考えられる．インテークダクト形状の曲がりを緩やかに改善することで空気流の剥離を防ぎ，所定の圧力・速度の空気をエンジンに供給できると思われる．その場合，機体胴体下部に露出するインテーク部分は長くなるが，2011 年度の風洞試験[1]より，インテーク長さが M2011 形状の抗力または空力特性に与える影響は小さいことが判明している．また，その場合，所要空気流量を得るためのインテーク入口サイズを小さくできるため，インテーク抗力の低減に寄与できると考えられる．

今後，インテーク模型のみの抗力の計測，内部流れの観察，等を進め，インテークの詳細な空力特性を把握する計画である．